УДК 552.57: 551.464.679

ФОРМЫ КОНЦЕНТРИРОВАНИЯ ТОРИЯ В УГЛЯХ

С.И. Арбузов, А.В. Волостнов

Томский политехнический университет
E-mail: siarbuzov@mail.ru

Изучены формы нахождения тория в торфах, в бурых и каменных углях Сибири. Методом нейтронно-активационного анализа изучено распределение Th во фракциях группового состава торфа и бурого угля, выполнены балансовые расчеты. Установлено, что в торфе и буром угле 50...78 % металла сосредоточено в гуминовых кислотах. В каменных углях низкой степени углефикации (марка Д) значительное количество тория содержится в остаточных гуминовых веществах. Изучено содержания Th во фракциях угля разной плотности. Определено, что в углях разных марок и разной зольности от 10 до 93 % Th содержится во фракции <1,6 г/см^3. Ступенчатая деминерализация каменного угля концентрированными кислотами (HCl и HF) приводит к накоплению основной массы тория в остаточном угле. Данные корреляционного анализа и электронной микроскопии позволяют заключить, что основной минеральной формой нахождения тория в зрелых каменных углях являются редкоземельные фосфаты.

Введение

Геохимия тория в углях изучена слабо вследствие низкого его содержания и отсутствия спроса на этот элемент в промышленности. Аномально высокие концентрации тория в углях редки. Вместе с тем, проведенные в последние годы исследования показали, что при сжигании углей на ТЭС значительная доля металла выносится с дымовыми газами в атмосферу и может оказывать существенное влияние на окружающую среду [1, 2]. Установлено, что его концентрация в дымовых газах зависит от термохимической устойчивости органических и минеральных компонентов угля – носителей тория. Вместе с тем формы его нахождения в углях почти не изучены. В соответствии с общими представлениями о геохимии тория в зоне гипергенеза, подтвержденными в некоторых случаях и экспериментальными данными, укоренилось представление о минеральной форме нахождения тория в углях. По одним данным основным его носителем и концентратором в углях может быть монацит [3], по другим – силикаты и алюмосиликаты [1, 4]. В то же время, имеются сведения, позволяющие предполагать возможность концентрирования значительного количества тория и в органическом веществе [1, 5, 6].

В связи со слабой изученностью и большой научной и практической значимостью этого вопроса, нами выполнены комплексные исследования распределения тория между компонентами органического и минерального вещества в торфах, бурых и каменных углях Центральной Сибири.

Методика исследований

Формы нахождения тория в торфах и бурых углях исследовались на основе стандартных методик изучения группового состава торфа и бурого угля, фракционирования угля по удельному весу, химической деминерализации угля концентрированными кислотами (HCl и HF).

Групповой состав торфа изучался в проблемной научно-исследовательской лаборатории комплексного использования горючих ископаемых Западной Сибири ТПУ С.Г. Масловым и В.С. Архиповым путем последовательной экстракции битумов, водорастворимых и легкогидролизуемых веществ, а также гумусовых кислот (гуминовых и фульвовых кислот) по методике Инсторфа [7].

Разделение угля на фракции разного удельного веса от 1,2 г/см^3 до >2 г/см^3 с шагом 0,1 г/см^3 выполнено в Западно-Сибирском испытательном центре (г. Новокузнецк). В качестве флотационного реагента использовался раствор $ZnCl_2$. Определялся выход фракций, их зольность, макроэлементный состав, содержание тория и других элементов.

Содержание тория и других попутных элементов определялось методом нейтронно-активационного анализа в ядерно-геохимической лаборатории Томского политехнического университета, работающей на базе исследовательского ядерного реактора НИИ ЯФ ТПУ (аналитик А.Ф. Судыко). Контроль осуществлялся параллельным исследованием первичных проб и продуктов их озоления, а также сопоставлением результатов со стандартными образцами сравнения.

Для оценки роли минеральных и сорбированных форм тория проводилась обработка проб угля соляной и плавиковой кислотами. Ступенчатая обработка проб концентрированной HCl и HF позволяет последовательно растворить карбонаты, большую часть силикатов и алюмосиликатов, перевести в раствор ионообменные формы тория, связанного с органическим веществом, не затрагивая при этом металла, находящегося в форме химически устойчивых соединений с органическим веществом.

Основные результаты исследований и их обсуждение

Торий в групповом составе торфа

Распределение тория в групповом составе торфа изучено на примере пяти месторождений верхового и низинного торфа юго-восточной части Западно-Сибирской низменности. Изучены пробы с разной зольностью, степенью разложения и разными условиями образования. Зольность A^d исходных проб торфа и содержание в них тория показаны в табл. 1.

Таблица 1. *Содержание тория и зольность исходных проб торфа, бурого и каменного угля*

	Состав пробы	Содержание Th, г/т	A^d, %
Полуденовское	торф	0,37	1,4
Васюганское-9	торф	0,21	2,0
Васюганское-11	торф	0,44	4,3
Березовая Грива	торф	1,1	5,6
Гусевское	торф	0,32	8,3
Латынцевское	бурый уголь	0,93	20,5
Черногорское	каменный уголь	0,65	4,3

Таблица 2. *Выход тория (мас. %) во фракции группового состава торфа*

Групповой состав торфа	Выход фракций, %	Содер-жание Th, г/т	Выход Th во фрак-ции, %
Полуденовское месторождение			
Исходный торф	100,0	0,37	100,0
Бензольный битум	7,5	<0,01	<0,1
Водорастворимые и легко-гидролизуемые вещества	38,6	0,043	4,4
Гуминовые кислоты	16,7	1,12	50,2
Фульвокислоты	15,2	0,302	12,3
Нерастворимый остаток	22,0	0,56	33,0
Месторождение Васюганское-9			
Исходный торф	100,0	0,21	100,0
Бензольный битум	2,8	<0,01	<0,1
Водорастворимые и легко-гидролизуемые вещества	52,5	0,016	4,0
Гуминовые кислоты	12,6	0,64	38,2
Фульвокислоты	10,6	0,24	11,7
Нерастворимый остаток	21,5	0,46	46,1
Месторождение Васюганское-11			
Исходный торф	100,0	0,44	100,0
Бензольный битум	5,0	0,005	0,1
Водорастворимые и легко-гидролизуемые вещества	33,0	0,066	5,0
Гуминовые кислоты	33,4	0,91	69,1
Фульвокислоты	8,6	0,01	0,2
Нерастворимый остаток	20,0	0,56	25,6
Месторождение Березовая грива			
Исходный торф	100,0	1,1	100,0
Бензольный битум	3,1	<0,01	0,1
Водорастворимые и легко-гидролизуемые вещества	46,0	0,18	7,5
Гуминовые кислоты	15,5	3,7	52,3
Фульвокислоты	20,1	0,98	18,0
Нерастворимый остаток	15,3	1,6	22,2
Месторождение Гусевское			
Исходный торф	100,0	0,32	100,0
Бензольный битум	1,7	0,017	0,1
Водорастворимые и легко-гидролизуемые вещества	40,6	0,011	1,2
Гуминовые кислоты	26,1	0,78	70,6
Фульвокислоты	19,5	0,11	7,3
Нерастворимый остаток	12,1	0,55	20,9

Отличительной особенностью верховых малозольных торфов является более низкий выход гуминовых веществ (табл. 2), что обусловлено меньшей степенью разложения органической массы.

Анализ данных, приведенных в табл. 2 свидетельствует, что основными концентраторами тория в торфе являются гуминовые кислоты и остаточные фракции, состоящие из негидролизуемого 4...5 % HCl лигнино-целлюлозного остатка и минерального вещества. Доля тория, приходящаяся на остаточную фракцию, изменяется от 20,9 до 46,1 %, а коэффициент накопления его во фракции по отношению к исходному торфу – от 1,3 до 2,1. Наибольший выход металла в эту фракцию характерен для малозольного слаборазложившегося верхового торфа.

В гуминовых веществах – гуминовых (ГК) и фульвокислотах (ФК) сосредоточено от 49,9 % до 77,9 % от общей массы тория в торфе. Наибольший выход металла в эту фракцию характерен для проб низинного хорошо разложившегося торфа с зольностью 5,6...8,3 %.

Гуминовые вещества являются основным концентратором тория в торфе. Его содержание в золе гуминовых кислот достигает 368 г/т, составляя в среднем 136 г/т (табл. 3). Коэффициент концентрации во фракции гуминовых кислот по отношении к торфу изменяется от 2,1 до 3,4. Зольный коэффициент концентрации достигает 21,5. Все это убедительно свидетельствует об избирательном накоплении тория на гуминовых веществах в процессе торфообразования.

Таблица 3. *Содержание тория в торфах, золе торфов и в извлеченных из них гуминовых кислотах*

Месторождение	Содержание тория, г/т				$КК_з$
	Торф	ГК	Зола торфа	Зола ГК	
Полуденовское	0,37	1,12	13,1	61,1	4,7
Васюганское-9	0,21	0,64	9,7	107	11,0
Васюганское-11	0,44	0,91	6,3	64,9	10,3
Березовая Грива	1,10	3,70	17,1	368	21,5
Гусевское	0,32	0,78	3,6	66,0	18,3
Среднее	0,49	1,43	10,0	136	13,6

Примечание: ГК – гуминовые кислоты; $КК_з$ – зольный коэффициент концентрации (отношение содержания элемента в золе ГК к золе исходного торфа)

Во фракцию водорастворимых и легкогидролизуемых веществ выделяется от 1,2 до 7,5 % тория от его суммарного содержания в пробах. В битумах концентрируется незначительная доля металла, не более 0,1 %. Следовательно, в торфе не только концентратором, но и основным носителем тория являются гумусовые кислоты (ГК+ФК), на которые приходится более половины массы металла в изученных пробах.

Остаточные фракции также являются концентратором тория, но как носитель они имеют второстепенное значение. В составе остаточной фракции торий может присутствовать как в минеральной форме, так и в неминеральной, входя в состав нерастворимых в NaOH гуминов.

Из данных, полученных в ходе эксперимента, можно сделать заключение, что на стадии торфонакопления роль минеральной формы нахождения тория в углях существенно уступает роли органического вещества. В органическом веществе сосредоточено от 50 до 78 % от общей массы тория в изученных пробах торфа.

Следует отметить, что изученный нами торф сформировался в более суровых климатических условиях, чем исходное вещество ископаемых углей. Однако известна общая тенденция возрастания степени разложения торфа, а следовательно, и роли гуминовых веществ в торфяной массе при изменении климатических условий от субарктических к субтропическим. Это позволяет предполагать и возрастание роли органического вещества в накоплении тория в более теплом климате позднего палеозоя и мезозоя по сравнению с современным климатом Сибири.

Торий в групповом составе бурого угля

В изученной пробе бурого угля с гумусовыми кислотами (ГК+ФК) связано 76 % тория, а с остаточным углем – лишь 23,7 % (табл. 4). При этом роль битумов в концентрировании металла ничтожна и составляет лишь 0,3 % от его массы в пробе. Учитывая, что исходная проба имеет достаточно высокую зольность (20,5 %) и низкое содержание металла (0,93 г/т), можно заключить, что и на буроугольной стадии органическое вещество может быть основным концентратором и носителем тория. Эти данные показывают, что торий может быть преимущественно связан с органическим веществом не только в малозольных [1], но и в среднезольных углях. При этом и в торфе и в буром угле торий не просто физически сорбируется на органическом веществе, а образует прочные комплексные соединения. На это указывает незначительный выход тория во фракцию легкогидролизуемых веществ, получаемую при обработке пробы 4...5 % раствором HCl. При такой обработке ионообменные формы металлов переходят в раствор.

Таблица 4. *Выход тория во фракции группового состава бурого угля Латынцевского месторождения Канско-Ачинского бассейна*

Групповой состав угля	Выход фракций, %	Содержание Th, г/т	Выход Th во фракции, %
Исходный уголь	100,0	0,93	100,0
Спирто-толуольный экстракт (битум)	1,0	<0,01	0,3
Гуминовые кислоты	57,6	0,26	9,7
Фульвокислоты	3,4	30,4	66,3
Остаточный уголь	38,0	0,96	23,7

Торий в групповом составе каменного угля

Роль гумусовых кислот в концентрировании тория сохраняется вплоть до окончательного их превращения в нерастворимые в NaOH гуматы. Об этом свидетельствует необычайно высокое его содержание в остаточных гумусовых кислотах, извлеченных из каменного угля марки Д (табл. 5). Выход гуминовых веществ (ГК+ФК) здесь составляет лишь 0,6 %, но содержание тория в них достигает 30,8 г/т. Поэтому, несмотря на низкий выход гуминовых веществ, на них приходится 28,5 % от суммарного содержания тория в пробе.

Таблица 5. *Выход тория во фракции группового состава угля марки Д Черногорского месторождения Минусинского бассейна*

Групповой состав угля	Выход фракций, %	Содержание Th, г/т	Выход Th во фракции, %
Исходный уголь	100,0	0,65	100,0
Спирто-толуольный экстракт (битум)	4,7	0,018	0,1
Гуминовые и фульвокислоты	0,6	30,8	28,5
Остаточный уголь	94,7	0,49	71,4

Таким образом, полученные нами данные по распределению тория в групповом составе торфов и углей показывают, что гуминовые вещества являются его основным концентратором и носителем вплоть до полного их исчезновения в связи с конденсацией и вхождением в структуру угля.

Дальнейшая история преобразования органического вещества сопровождается потерей активных функциональных групп, высвобождением связанных с ними металлов и формированием самостоятельных минеральных фаз. Изучение форм нахождения тория в каменных углях затруднено малыми размерами минеральных фаз, сложностью их выделения из угольной матрицы и невозможностью объективной количественной оценки доли органических комплексов в его накоплении. Для решения этой задачи используются различные преимущественно косвенные методы и методы электронной микроскопии.

Торий в продуктах химической деминерализации угля

Для приближенной оценки форм нахождения тория в каменном угле проведена ступенчатая деминерализация проб углей марки Д, К и ОС (табл. 6).

Содержание тория в исследованных пробах изменяется от 1,1 до 11,5 г/т, следовательно, они представляют угли с нижекларковыми, кларковыми и надкларковыми уровнями его накопления.

В первом случае обработка относительно малозольного бедного торием угля марки К концентрированными HCl и HF не привела к выщелачиванию этого металла вместе с другими золообразующими компонентами и в остаточном малозольном продукте (A^d=0,4 %) его содержание превысило 300 г/т золы. Это свидетельствует о том, что торий в данной пробе содержится в устойчивых к воздействию

сильных кислот соединениях. Такими соединениями могут быть фосфаты редких земель и иттрия и циркон, установленные при электронно-микроскопическом изучении золы остаточной фракции, а также металлоорганические комплексы.

Во втором случае, уголь пласта XXXнп (марка Д) при обработке его концентрированной HCl потерял около 40 % от массы содержавшегося в нем тория. В солянокислом экстракте содержание тория достигло 32 г/т сухой массы. Последующая обработка пробы угля плавиковой кислотой не привела к переходу металла в раствор. Содержание тория в золе деминерализованного угля при зольности остаточной фракции около 1 % составило 136 г/т. Значительное его выщелачивание из угля при обработке проб концентрированной HCl может быть связано с нахождением Th в карбонатах редких земель, в сорбированном виде в органическом и минеральном веществе, а также в хелатной форме в составе органических комплексов. Последнее согласуется со значительной ролью остаточных гуминовых кислот в его концентрировании в углях этой марки (табл. 5).

Таблица 6. *Распределение тория в продуктах ступенчатой деминерализации угля*

Характеристика продукта	Содержание Th, г/т		
	Пласт XXXнп (марка Д)	Пласт I (марка К)	Пласт IV–V (марка ОС)
Исходный уголь	2,7	1,1	11,5
Зола исходного угля	16,2	9,6	53,9
Уголь после обработки $HCl_{конц.}$	1,6	1,2	10,1
Зола остаточного угля после обработки $HCl_{конц.}$	10	12	51,7
Остаток после выпаривания HCl	32	1,6	32,9
Уголь после обработки $HF_{конц.}$	1,4	1,3	11,7
Зола остаточного угля после обработки $HF_{конц.}$	136	304	641
Остаток после выпаривания HF	3,3	нет данных	2,7

Обработка угля марки ОС (пласт IV–V) концентрированной HCl обусловила извлечение лишь 8 % тория, а последующая обработка HF – еще 3 %. Незначительный выход металла объясняется нахождением тория в кислотоустойчивых минералах (фосфатах редких земель, цирконе) и, отчасти, возможно, в металлоорганических комплексах.

Многоступенчатое выщелачивание угля 5 % раствором соляной кислоты не привело к сколько-нибудь заметному переходу металла в раствор, что свидетельствует о незначительной роли сорбированных форм и карбонатных минералов в концентрировании тория.

Электронно-микроскопические исследования подтверждают эти выводы. В золе деминерализованного угля установлены многочисленные фосфаты редкоземельных элементов: монацит, ксенотим, крандаллит и другие. И хотя использованная методика исследования не позволила выявить факт нахождения тория в акцессорных фосфатах редкоземельных элементов из-за недостаточной чувствительности анализа, но наличие значимой корреляции с лантаноидами позволяет считать редкоземельные фосфаты основным носителем и концентратором тория в изученных каменных углях. Эти данные согласуются с результатами изучения каменных углей США [3, 8].

Торий в плотностных фракциях угля

Обоснование преимущественно минеральной формы нахождения тория в каменных углях требует объяснения фактов отчетливого обогащения торием золы малозольных углей и золы легких фракций угля (табл. 7). Анализ плотностных фракций обычно используется для обоснования связи элемента с органическим или минеральным веществом угля [9]. Его накопление в легких фракциях рассматривается как указание на связь с органическим веществом, а в тяжелых – с минеральным.

Отчетливо видно, что золы легких фракций угля существенно обогащены металлом на фоне золы тяжелых фракций. Содержание тория в золе легких фракций во всех без исключения пробах значительно, в 2...4 раза, выше, чем в золе тяжелых. Это указывает на избирательное накопление тория на органическом веществе угля. Расчеты показывают, что легкие фракции (<1,5 г/см^3) содержат от 10 до 93 % от массы тория в угле. При этом максимум приходится на бедные торием зольные низкозрелые бурые угли марки Б1 и низкозольные угли марки К, а минимум – на высокозольные угли марки ОС. Приведенные в таблице данные указывают на отсутствие зависимости содержания элемента во фракциях от марочного состава угля. Вероятно, основным фактором распределения тория между минеральным и органическим веществом угля следует считать фациальные условия угленакопления. В углях, формировавшихся в условиях более активного гидродинамического режима за счет низинных торфяников, значительная часть тория накапливалась в кластогенных минералах, а в углях, образовавшихся в условиях застойных озерно-болотных фаций и фаций верховых болот – в органическом веществе.

Приуроченность тория к легким фракциям угля и одновременно преимущественно минеральная форма его нахождения в каменном угле не противоречат друг другу, а отражают эволюцию изменения форм концентрирования тория. На ранних этапах углеобразования основная масса тория в низко-среднезольных торфах накапливалась в гуминовых веществах, в связи с чем приуроченность основного количества тория к органической массе угля вполне естественна. В процессе созревания угля происходило высвобождение тория из органической массы. Соответственно, изменялась и его форма нахождения, но из-за его низкой миграционной способности формирование торийсодержащих минералов происходило непосредственно на месте. Малые размеры минералов и их нахождение в порах и мик-

Таблица 7. *Распределение тория в продуктах фракционирования угля*

Удельный вес, г/см^3	Выход фракции, %	A^d, %	Содержание тория, г/т		Выход Th во фракцию, %
			в угле	в золе угля	
Марка 1Б (пласт Второй Талду-Дюргунского месторождения)					
<1,2	82,99	10,7	0,7	6,5	68,9
1,2...1,3	11,86	13,7	1,4	10,2	19,7
1,3...1,4	1,24	32,8	2,2	6,7	3,2
1,4...1,5	0,60	38,0	1,7	4,5	1,2
1,5...1,6	0,06	36,5	1,8	4,9	0,1
1,6...1,7	0,16	43,3	1,5	3,5	0,3
1,7...1,8	0,44	65,7	2,2	3,4	1,1
>1,8	2,67	79,2	1,7	2,2	5,4
Марка Д (пласт Двухаршинный Черногорского месторождения)					
<1,3	23,25	3,88	0,62	19,3	10,0
1,3...1,4	42,00	8,48	1,1	12,1	32,0
1,4...1,5	13,25	16,61	1,9	11,5	17,5
1,5...1,6	3,50	26,43	2,0	10,1	4,9
1,6...1,7	4,25	27,50	2,4	9,7	7,1
1,7...1,8	1,00	29,97	2,2	7,2	1,5
1,8...2,0	9,50	48,98	2,7	7,1	17,8
>2,0	3,25	88,17	4,1	5,1	9,2
Марка Ж (пласт Е-10 Осиновского месторождения)					
<1,2	75,00	3,53	1,1	31,2	35,5
1,2...1,3	2,90	9,20	2,6	28,3	3,2
1,3...1,5	1,00	27,08	3,6	13,3	1,5
1,5...1,8	1,20	48,68	10,0	20,5	5,1
>1,8	9,80	83,27	13,0	15,6	54,7
Марка К (пласт I Сибиргинского месторождения)					
1,2...1,3	96,06	2,81	1,1	41,5	78,0
1,3...1,4	0,48	11,90	1,6	19,3	0,6
1,4...1,5	0,38	17,33	2,1	16,0	0,6
1,5...1,6	0,20	33,42	5,7	15,8	0,8
1,6...1,7	0,38	48,01	7,2	12,9	2,0
1,7...1,8	2,24	48,70	10,0	19,6	16,5
>1,8	0,26	54,51	7,9	13,6	1,5
Марка ОС (пласт IV–V Ольжерасского месторождения)					
<1,3	32,8	4,6	1,6	35,0	9,7
1,3...1,4	21,9	10,1	2,8	24,0	11,3
1,4...1,5	9,4	20,0	5,1	20,0	8,8
1,5...1,6	6,1	29,0	7,2	27,0	8,1
1,6...1,8	9,0	40,9	9,6	14,0	15,9
>1,8	20,9	78,3	12,0	12,0	46,2
Марка ОС (пласт XI Ольжерасского месторождения)					
1,2...1,3	26,65	6,78	1,9	28,7	5,9
1,3...1,4	4,60	22,57	5,8	17,6	3,1
1,4...1,5	3,78	24,68	3,0	15,2	1,3
1,5...1,6	2,62	29,94	4,9	13,5	1,5
1,6...1,7	1,71	42,31	9,1	15,7	1,8
1,7...1,8	7,93	50,76	9,1	17,1	8,3
1,8...1,9	8,80	61,05	10,7	12,3	10,9
1,9...2,0	3,93	65,98	13,9	16,1	6,3
>2,0	39,98	76,09	13,2	17,5	60,9
Марка Т (пласт II Араличевского месторождения)					
1,3...1,4	50,0	6,5	3,1	47,7	32,2
1,4...1,5	20,2	13,5	5,3	39,3	22,2
1,5...1,6	11,9	19,3	6,9	35,8	17,0
1,6...1,7	5,95	30,3	8,6	28,4	10,6
1,7...1,8	2,40	36,1	11,0	30,5	5,5
1,8...1,9	3,60	42,5	9,4	22,1	7,0
>1,9	5,95	43,4	4,4	10,1	5,4

ротрещинах не позволяют отделить их от органической массы в процессе традиционного гравитационного разделения угля на фракции.

Результаты корреляционного анализа

В целом для тория в углях характерна высокая значимая положительная корреляционная связь с зольностью. Для золы угля отмечается либо слабо выраженная отрицательная связь тория с зольностью [10], либо отсутствие значимых связей [11]. Первое указывает на преимущественное его накопление в органическом веществе, а второе – на сопоставимую роль органического и минерального вещества в его концентрировании.

Такой характер связей позволяет предположить, что накопление тория в органическом веществе происходило в значительной степени благодаря разложению в агрессивной среде торфяника кластогенного материала. В процессе разложения минералов более подвижные в кислой среде золообразующие элементы выносились за пределы залежи, либо были использованы растениями торфообразователями, а элементы-гидролизаты как малоподвижные в кислой среде накапливались. Процесс миграции элементов происходил и на стадии диагенеза и катагенеза, о чем свидетельствует формирование поздних карбонатных и кремнистых конкреций, микропрожилков карбонатов, сидеритовых кластических даек и т.п. Этим можно объяснить приуроченность повышенных содержаний тория в золе преимущественно к среднезольным углям. В малозольных углях недостаточно исходного минерального вещества для накопления высоких концентраций тория, а в высокозольных из-за повышенной щелочности снижается интенсивность разрушения кластогенного материала. Заметим, что этот механизм не исключает поступления тория в торфяник в растворенном состоянии или в виде коллоидов с поверхностными и грунтовыми водами. Возможность аквагенного поступление элемента в угольный пласт подтверждается наличием на территории Западно-Сибирской плиты низкозольных торфов с содержанием в золе до 300 г/т тория при отсутствии иных источников его поступления в торфяник. Аномальная ториеносность может быть связана с наличием в подстилающих отложениях мел-палеогенового возраста циркон-ильменитовых и монацитовых россыпей [12].

По данным кластерного анализа, торий наиболее близок к танталу, легким и средним лантаноидам, алюминию, рубидию, иттрию, что позволяет предполагать его накопление помимо фосфатов также в силикатах и алюмосиликатах (слюдах и каолините). Однако последние, судя по результатам ступенчатой деминерализации угля, имеют подчиненное значение.

Выводы

Проведенные исследования показали, что торий в низко-среднезольных углях Центральной Сибири на ранних стадиях углеобразовательного процесса концентрируется преимущественно в органическом веществе. Концентратором и носителем тория в торфе и буром угле являются гумусовые кислоты. В процессе углефикации происходит изменение формы нахождения тория с образованием его собственных минеральных фаз. Основными минералами-концентраторами тория в каменных углях являются редкоземельные фосфаты и другие акцессорные минералы.

Авторы благодарны С.Г. Маслову и В.С. Архипову за помощь в исследовании группового состава угля и торфа, в проведении химической деминерализации угля, за ценные советы и рекомендации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кизильштейн Л.Я., Левченко С.В. Геохимия тория в углях: Экологический аспект // Геохимия. – 1995. – № 6. – С. 874–880.
2. Кизильштейн Л.Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях. – Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. – 296 с.
3. Finkelman R.B. Modes of occurrence of trace elements in coal // U.S. Geol. Surv. Open-File Rep. – 1981. – № 81–99. – 322 p.
4. Queral X, Fernandez-Turiel J.L., Lopez-Soler A. Trace elements in coal and their behavior during combustion in a large power station // Fuel. – 1995. – V. 74. – № 3. – P. 331–343.
5. Рязанов И.В., Капатурин Г.Г. Сравнительно-геохимический анализ редкометальной минерализации двух угольных пластов воркутинской серии // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока европейской части СССР. – Сб. 8. – Сыктывкар: Коми книжн. изд-во, 1976. – С. 409–416.
6. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. – Л: Наука, 1985. – 239 с.
7. Лиштван И.И., Король Н.Т. Основные свойства торфа и методы их определения. – Минск: Наука и техника, 1975. – 320 с.
8. Finkelman R.B., Palmer C.A., Krasnow M.R. et. al. Combustion and leaching behavior of elements in the Argonne Premium coal samples // Energy Fuels. – 1990. – V. 4. – № 6. – P. 755–767.
9. Шпирт М.Я., Клер В.Р., Перциков И.З. Неорганические компоненты твердых топлив. – М.: Химия, 1990. – 240 с.
10. Арбузов С.И., Ершов В.В., Поцелуев А.А., Рихванов Л.П. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна. – Кемерово, 2000. – 248 с.
11. Арбузов С.И., Ершов В.В., Рихванов Л.П., Кяргин В.В., Булатов А.А., Дубовик Н.Е. Редкометалльный потенциал углей Минусинского бассейна. – Новосибирск: Изд-во СО РАН Филиал "ГЕО", 2003. – 348 с.
12. Рихванов Л.П., Кропанин С.С., Бабенко С.А. и др. Циркон-ильменитовые россыпные месторождения как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона. – Кемерово: ООО "Сарс", 2001. – 214 с.